

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE REACTOR TIPO
BATCH A ESCALA DE LABORATORIO PARA LA PRODUCCIÓN DE
BIODIESEL A PARTIR DE ACEITES VEGETALES.**



COVALEDA OLAVE MARIO NICOLAS

HOYOS ALVAREZ CAMILO ANDRES

UNIVERSIDAD DE CORDOBA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

MONTERÍA – CORDOBA

2014

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE REACTOR TIPO
BATCH A ESCALA DE LABORATORIO PARA LA PRODUCCIÓN DE
BIODIESEL A PARTIR DE ACEITES VEGETALES.**

COVALEDA OLAVE MARIO NICOLAS

HOYOS ALVAREZ CAMILO ANDRES

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar el título de ingeniero
mecánico**

Director del proyecto

Jorge Mario Mendoza fandiño

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

MONTERÍA – CÓRDOBA

2015

El jurado calificador del trabajo de grado no será responsable de las ideas
emitidas por los autores

(Artículo 46, acuerdo 006 de Mayo de 1979, consejo directivo)

NOTA DE ACEPTACION

PRESIDENTE DEL JURADO

JURADO

JURADO

JURADO

Montería, 14 de junio de 2015

DEDICATORIA

A mis creadores y familia que son los principales autores de mi proyecto de vida, estos seres fueron el motor de mi lucha en momentos difíciles cuando todo parecía derrumbarse. También a mis amigos y compañeros que fueron incondicionales cuando necesite ayuda y sin lugar a duda mi novia que estuvo respaldando mis ideas en todo sentido.

MARIO NICOLAS COVALEDA OLAVE

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera cordial y desinteresada el gran aporte integral que se dio en el programa de ingeniería mecánica tanto para el proyecto como para mi formación profesional.

A mis compañeros y posteriores colegas que fueron ayuda esencial en momentos de necesidad como: dairo enrique Mendoza, John Luis Oquendo, Jorge Carlos Galvis, keimer martinez, Alan Gonzales, Leonardo geovo, pedro miranda, Elías Ricardo, Jorge Mario león, Víctor Guzmán y Wilder triana.

También muy agradecido con la coordinadora del laboratorio de biocombustibles Jennifer lafont y su equipo de trabajo por su amable colaboración desde el inicio de este proyecto. A nuestro director, amigo y profesor Jorge Mario Mendoza por creer en el desarrollo y consagración de este proyecto. Al ingeniero Elkin camilo Medellín por su asesoría y seguimiento en todas las etapas del proyecto.

Sin lugar a duda mis padres que son la razón de ser de mi vida y mi novia que en mi soledad era mi norte.

TABLA

LISTAS DE FIGURAS

RESUMEN DEL PROYECTO

El proyecto que a continuación se describe tiene como fin brindar a la comunidad científica y universitaria una solución óptima y rápida al proceso de producción de combustibles de tipo biológico para así dar omisión a las energías de origen fósil que consigo acarrear el deterioro ambiental. Esta solución se desarrolla mediante una planeación, un diseño, una construcción y una posterior prueba experimental de un prototipo de reactor tipo batch a escala laboratorio para la producción de biodiesel a partir de aceites vegetales.

El anterior dispositivo tiene el fin de minimizar los tiempos de producción de biodiesel y además de ello aumentar la cantidad de combustible significativamente en una relación de aproximadamente 120 veces más que lo producido en un laboratorio de biocombustibles. Además de ello se pretende que con este dispositivo a escala de laboratorio se dé inicio a una producción industrial mediante la elaboración de un equipo de una capacidad considerablemente mayor a la plasmada en este proyecto.

Este documento posee seis capítulos donde se detalla las etapas y fases del proyecto, a continuación se da paso a una breve descripción:

En el primer capítulo se describe las generalidades del proyecto y todo lo que comprende a la información global de este como la descripción y planteamiento del

problema, una justificación, objetivos y un marco referencial que contiene información concisa y necesaria para conocer el proyecto como tal.

Para el segundo capítulo se desarrolla el contenido metodológico del proyecto donde se describe cada fase y sus respectivas actividades.

Luego para el tercer capítulo se da paso al diseño del reactor tipo batch para la producción de biodiesel. En este capítulo se desarrolla el proceso de selección del material, búsqueda de espesores mínimos de lámina, diseño y selección de elementos mecánicos como ejes, acoples, agitadores y otros elementos que conciernen a este proyecto.

Posteriormente se da paso al capítulo cuatro, en este se describe la construcción del reactor tipo batch para la producción de biodiesel y el ensamble de los subsistemas que conciernen a este dispositivo.

Se tiene el capítulo seis donde se da cabida a la descripción tanto económica como de tiempo que implico este proyecto.

Por último se tiene el análisis de resultados y las conclusiones del proyecto a ejecutar, como capítulo 7.

Este proyecto se dio ejecución logrando así los objetivos planteados en la parte inicial de este, de manera exitosa consiguiendo dar un aporte a la comunidad científica y universitaria para nuevas investigaciones en lo que combustibles se hace alusión.

ABSTRACT

The project described below is intended to provide the scientific and academic community optimal and rapid solution to the fuel production process of biological type so as to failure to fossil energies that carry with it environmental degradation. This solution is developed through planning, design, construction and subsequent experimental testing of a prototype laboratory batch type reactor for the production of biodiesel from vegetable oils scale.

The above device has to minimize production times and moreover biodiesel fuel quantity increased significantly in a ratio of about 120 times more than what is produced in a laboratory biofuel. Moreover it is intended that this device laboratory scale start is given to an industrial production through the development of a team of considerably higher than reflected in this project capacity.

This document has six chapters where the stages and phases of the project is detailed, then it gives way to a brief description:

In the first chapter an overview of the project and all that encompasses global information of this as the description and problem statement, justification, objectives and a framework containing concise and necessary to meet the project as such information is disclosed.

The second chapter the methodological content of the project where each phase and their respective tasks described develops.

Then for the third chapter gives way to the design of batch type reactor for the production of biodiesel. In this chapter the selection process welding finding minimum

sheet thickness, design and selection of mechanical components such as shafts, keys, couplings, mixers and other items pertaining to this project develops.

Subsequently gives way to Chapter Four, in this construction of batch type reactor for biodiesel production and assembly of subsystems concerning this device is described.

Has finally chapter six where space is given to both economic and time description involving this project.

This project execution took achieving the goals outlined in the initial part of this, successfully getting give a contribution to the scientific and academic community to further research on what makes reference fuel.

CAPITULO I

1 INFORMACION GENERAL DEL PROYECTO

1.1 Introducción

Un reactor químico es un equipo en cuyo interior tiene lugar una reacción química, estando éste diseñado para maximizar la conversión y selectividad de la misma con el menor costo posible, Por lo anterior se da paso al diseño y construcción de un prototipo de reactor tipo batch a escala de laboratorio para la producción de biodiesel a partir de aceites vegetales. Con lo que se pretende disminuir los tiempos de elaboración de biodiesel y además aumentar la cantidad de producción en el laboratorio de biocombustibles.

En la actualidad se está viviendo una revolución de concientización respecto a temas pertinentes al daño que le hemos causado al ambiente y como este último se ha manifestado respecto a la mala práctica realizada por los habitantes. Por lo cual, en países en vía de desarrollo están mitigando esta problemática y Colombia no es ajeno a esta situación, siendo uno de los impulsores de la revolución junto a países como Perú y Brasil.

Colombia posee una biodiversidad inmensurable y con ello una gran cantidad de energía potencial capaz de generar combustibles a partir de extractos vegetales, para ello se es necesario procedimientos químicos para realizar dicha transformación. Los semilleros de investigación como entes encargados de generar conocimiento son los llamados de encabezar alternativas de nuevas energías que luego serán puestas a disposición de empresas encargadas de convertir estas alternativas en producciones a gran escala.

Por lo antes mencionado se da la tarea de diseñar y construir un prototipo de reactor tipo batch a escala laboratorio para la producción de biodiesel a partir de aceites vegetales utilizados en la región y así aumentar la diversidad de materia prima analizada y además acelerar dichas investigaciones reduciendo el tiempo de producción del biodiesel .este proyecto se desarrollara en tres etapas que consiste en una primera parte que se basa en Diseño del Reactor tipo Batch posteriormente se da cabida a la segunda fase que se constituye por Construcción, montaje y puesta a punto del Reactor por último se ejecuta la última etapa basada Pruebas Experimentales del Reactor y producción de biodiesel, esta última siendo una etapa evaluativa y de mucha importancia para el proyecto.

1.2 Descripción y planteamiento del problema

En la actualidad, es necesario disminuir los niveles de contaminación, para tratar de evitar la agudización del problema ambiental originado por mal hábitos, como el calentamiento global y el debilitamiento de la capa de ozono. Uno de los agentes contaminantes más significativos siempre ha sido la emisión de gases a partir de los motores de combustión interna, los cuales para fundamentar su funcionamiento en materias primas de origen fósil (no renovable) generadoras de sustancias nocivas; estas sustancias presentes en muchas de las actividades económicas más importantes.

Necesitamos la ingeniería para la implementación de tecnologías que le permitan seguir siendo igual de trascendentes pero al mismo tiempo ser más amigables. Una forma de contribuir desde la ciencia a mitigar el impacto producido desde estos equipos es buscar combustibles alternativos que puedan reemplazar los de orígenes fósiles actualmente usados, que por motivos de competitividad día tras día aumentan su demanda.

La UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA como referente académico regional debe generar avances en Ciencia y Tecnología de acuerdo a las necesidades actuales, en esta oportunidad el grupo de investigación de FISICOQUIMICA ORGANICA del departamento de Química en alianza con el Semillero de Investigación de Ingeniería Mecánica SIMEC pretende construir un equipo apto para producir biodiesel a partir de materias primas comunes de la región, actualmente la prioridad se centra en la ausencia en el laboratorio antes mencionado de un reactor para llevar a cabo el proceso de Transesterificación de Aceites Vegetales, para lo cual los estudiantes inmersos en el proyecto proponen el Diseño y Construcción de un Reactor Tipo Batch para procesar diversas materias primas y continuar el proceso de producción de Biodiesel y obtener mezclas propias caracterizadas con el fin de divulgar resultados a la comunidad científica Regional y Nacional.

1.3 Justificación

La investigación efectuada en la última década referente a la aplicación energética del uso de biodiesel como sustituto de los combustibles fósiles utilizados en los medios de transporte, se ha convertido en un estímulo económico y estratégico para disminuir las

importaciones de petróleo a los países tercermundistas y con ello la utilización apropiada del potencial energético presente en regiones con una gran biodiversidad.

La problemática principal se basa en llevar la producción de biodiesel a escalas de pruebas industriales mediante la construcción de un reactor tipo Batch para el laboratorio de biocombustibles de la universidad de córdoba.

Los Valles del Sinú y San Jorge se caracterizan por su alta producción de productos orgánicos poseedores de un alto contenido energético posiblemente aprovechable para el uso del gasto vehicular que necesita la región, por otra parte los combustibles fósiles en Colombia representan cerca del 47% de la demanda total de energía, Constituida en la mayor parte por los consumos de gasolina y diésel (ACPM), en el sector transporte este último ha presentado en años recientes un aumento considerable en su consumo debido a su menor precio y mayor eficiencia en los motores de combustión interna; pero tiene el inconveniente de ser un recurso no renovable, con un nivel de producción que se acerca al límite de la capacidad instalada en el país. (Alvarez, 2009)

También se desea con este proyecto contribuir con el proceso de producción Científica, Tecnológica y de Innovación que enfrenta la Universidad de Córdoba como ente educativo y de desarrollo para el Departamento de Córdoba y la Región Caribe, respaldado por entidades estatales y a su vez por empresas que se encuentran interesadas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar y construir un reactor tipo Batch a escala piloto para el laboratorio de biocombustibles de la universidad de Córdoba, a través de parámetros mecánicos y químicos para la producción de Biodiésel a través del proceso de Transesterificación.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar los subsistemas de alimentación, agitación y calentamiento del reactor teniendo en cuenta el régimen de agitación y la viscosidad de los reactivos.
- Elaborar el diseño y selección de los elementos mecánicos del reactor en consideración de las condiciones de operatividad.
- Construcción y posterior puesta en marcha del reactor tipo batch realizando pruebas piloto con el fin de encontrar su correcta funcionalidad.
- verificar el óptimo funcionamiento del reactor mediante el análisis y evaluación del biodiesel obtenido.

1.5 Revisión de literatura

Según (Robalino C. , 2009), El diseño de un reactor experimental debe permitir flexibilidad en la operación y el uso de materia prima variadas, tipos de catalizadores entre ácidos y básicos en baja concentración (no superior a 3 % de la masa total reactante), aceites con diferentes niveles de acidez y Etanol en diferentes excesos; por esto, se deben considerar intervalos de temperatura y presión de operación de acuerdo con las características de los reactivos. Además un reactor de este tipo debe contar con sistemas de agitación y control de temperatura respectivo, salida de vapor, reflujo de condensado, acoples para el sistema de calentamiento y control de temperatura, acoples

para tubería de alimentación y descarga, etc. Además de un intercambiador de calor que permita la recuperación de los productos volatilizados o en exceso.

En el desarrollo de este tipo de dispositivos encontramos el adelantado por (Patajalo & varios, 2013) del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de las Escuela Politécnica del Ejército Extensión. Diseñado para una capacidad de 13 litros, y contenedores de aceite y metoxido para una capacidad de 2.5 litros, con un motor de marca WEQ de 1/3 HP a 110 V para mover un agitador de aspas planas construido en Acero Inoxidable de longitud de 250 mm, una resistencia para el control de la Temperatura de: 15 cm de longitud, 1300 W y 110V de operación, tubería de ½ in, Electroválvulas para el control automático y un tablero de control marca Siemens en el cual se programaron los diferentes procesos para la producción del Biodiesel. En la Figura 1 se muestra el reactor con sus subsistemas.

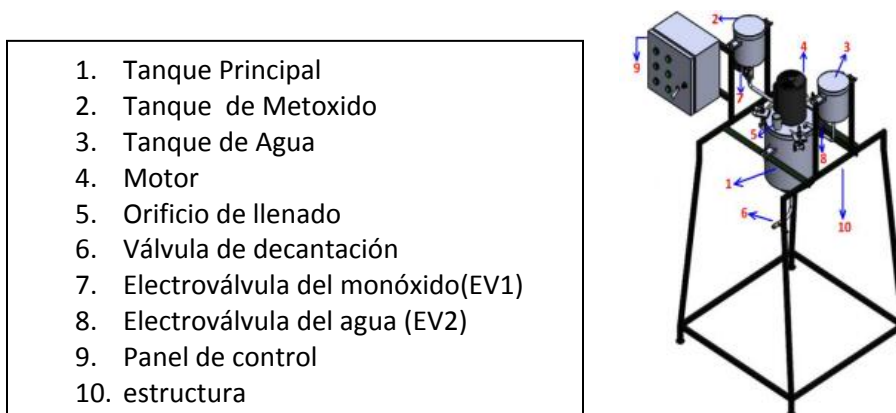


Figura 1: Reactor automatizado para producción de biodiesel a nivel semi-ind

Fuente: Patajalo, L., & varios. (2013). implementacion de un reactor automatizado para producir biodiesel a nivel semi- industrial. latacunga.

En Colombia se han realizado diversas investigaciones en materia de producción de Biodiesel, variando la materia prima usada, la cantidad, el tipo de reactor y la escala de los equipos. Entre estos destacamos el Diseño y Montaje de una Planta Piloto para la Producción de Biodiesel a partir de Aceites Gastados por (Quiñones & Prieto, 2003) de la Universidad Nacional de Colombia, mostrándolo como una alternativa de abastecimiento de combustible a los buses del sistema masivo de transporte de la ciudad de Bogotá D.C; en el cual la evaluación del Biodiesel obtenido se hace bajo condiciones simuladas de carga en un vehículo tipo Diésel, montado sobre un chasis dinamométrico realizando pruebas de Torque, Potencia y Opacidad para verificar su comportamiento, obteniendo resultados satisfactorios con respecto a los productos obtenidos, concluyendo que el Biodiesel obtenido de aceites gastados y su mezcla con aceite refinado de palma, reduce la Opacidad de humos de combustión siendo una Tecnología más amigable con el ambiente que la habitual con Diésel tradicional, además son adecuados para ser usados como combustible en motores Diésel; aun cuando se presentan perdidas en potencia y torque en el motor llevando consigo el incumplimiento de los estándares internacionales establecidos, ya que estos están basados en productos obtenidos a partir de aceites como Colza o Soya, que presentan diferencias marcadas frente al aceite de Palma. Dejando la puerta abierta a nuevas investigaciones con materias primas que tal vez puedan brindar mejores características.

En los mercados locales e internacionales e incluso a través de la Web se puede conseguir ejemplares de reactores tipo Batch prácticamente automáticos, pensados para producir Gasoil en casa, A un precio alrededor de los 4561€ como este de la empresa GRUPO W.R.S con el cual se puede producir hasta unos 1800 litros de Biodiesel al

día usando tanques adicionales para el almacenamiento. En la Figura 2 se muestra el reactor de Biodiesel automatizado manufacturado por GRUPO W.R.S.



Figura 2:Reactor Biodiesel - 200L/batch; marca Ico-GE; distribuido

Fuente: GRUPO W.R.S online

El Biodiesel se ha convertido en un combustible muy estudiado últimamente debido a la problemática ambiental actual, producida en gran parte por las emisiones que generan otros combustibles, la preocupación de la sociedad actual por disminuir los efectos adversos, conlleva a pensar en posibles alternativas, entre estas sobresale el Biodiesel que es hecho de fuentes renovables como aceites vegetales y grasas animales.

Cien años atrás, Rudolf Diésel ensayó aceites vegetales como combustible para sus máquinas. Con la baja en el precio del petróleo, las fracciones de crudo apropiadas eran refinadas y utilizadas como combustible y los combustibles Diésel y las máquinas Diésel evolucionaron juntas. En los años 30`s y 40`s los aceites vegetales fueron usados como combustibles Diésel, pero solamente en situaciones de emergencia (Loaiza, 2003).

No es necesario efectuar ninguna modificación en los motores para poder emplear este combustible. Importantes fabricantes de vehículos europeos efectuaron pruebas con resultados satisfactorios en Automóviles, Camiones y Ómnibus. El Biodiesel, desde el punto de vista de la inflamabilidad y toxicidad, es más seguro que el Gas-Oíl

proveniente del petróleo, no es peligroso para el ambiente y es biodegradable. (Choi, 2006)

Se han hecho investigaciones considerables sobre combustible Diésel a partir de aceites vegetales y grasas animales, siendo éstas últimas menos estudiadas, ya que requieren un trato diferente debido a las diferencias de sus propiedades naturales. Algunos aceites poseen altas viscosidades y las grasas son sólidas a temperatura ambiente por lo que se deben obtener sus derivados para poder utilizarlos como combustible en las máquinas existentes (Loaiza, 2003).

Antes de utilizar el proceso de Transesterificación para producir Biodiesel, se estudiaron tres métodos: uso directo o mezcla de aceites, microemulsiones y Pirolisis. (frangui, 1999)

1.5.2 Proceso de transesterificación:

La reacción para la obtención de esteres etílicos puede hacerse directamente a partir de las grasas y aceites por transesterificación (alcoholisis con etanol), o a través de los ácidos grasos realizando primero el desdoblamiento de la grasa a alta presión, temperatura y posteriormente la esterificación con etanol. Este último proceso es más complejo y costoso, además de ello requiere un mayor consumo de energía. La transesterificación conduce al desdoblamiento de los triglicéridos de la grasa generando el éster de interés y glicerina como subproducto. En la Figura 2 se muestra la estequiometría a nivel químico de la reacción de transesterificación. . (Quiñones & Prieto, 2003)

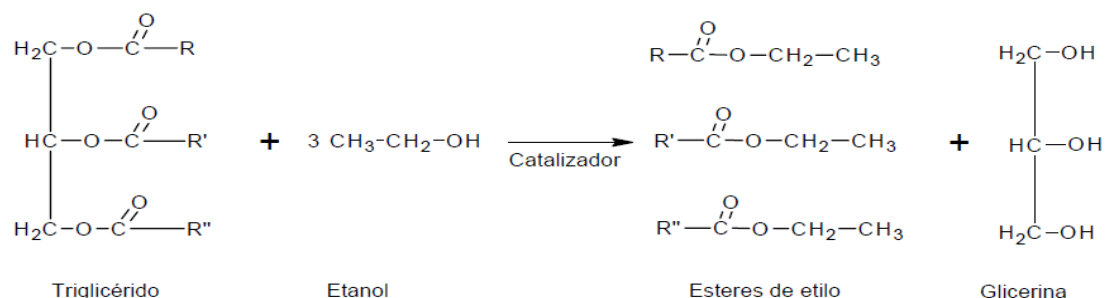


Figura 3: Reacción de transesterificación

Fuente: Quiñones, L., & Prieto, O. (2003). dimensionamiento y montaje de un reactor piloto para la obtencion de biodiesel apartir de aceites vegetales gastados. Bogota.

1.5.3 Reactor químico

Un Reactor Químico es una unidad procesadora diseñada para que su interior se lleve a cabo una o varias reacciones químicas. Dicha unidad procesadora está constituida por un recipiente cerrado, el cual cuenta con líneas de entrada y salida de sustancias químicas.

Los reactores químicos tienen como funciones principales:

- Asegurar el tipo de contacto o modo de fluir de los reactantes en el interior del tanque, para conseguir una mezcla deseada con los materiales reactantes.
- Proporcionar el tiempo suficiente de contacto entre las sustancias y con el catalizador, para conseguir la extensión deseada de la reacción.
- Permitir condiciones de presión, temperatura y composición de modo que la reacción tenga lugar en el grado y a la viscosidad deseada, atendiendo a los aspectos termodinámicos y cinéticos de la reacción. (sendros, 2004)

1.5.4 Reactor tipo Batch

Este tipo de reactores, se caracteriza por no tener flujo de entrada de reactivos, ni de salida de productos mientras se lleva a cabo el proceso. Todos los compuestos son

cargados inicialmente en los tanques de agitación y la reacción continua hasta completarse. Este dispositivo tiene la ventaja de que su costo de instrumentación es bajo, además de ser flexible en su uso (se le puede detener de modo fácil y rápido). Tiene la desventaja de un elevado costo en su funcionamiento y de mano de obra debido a la gran cantidad de tiempo que pasa detenido debido a la carga, descarga y limpieza. Además no siempre es posible implementar un sistema de control adecuado. Este reactor suele usarse en pequeñas producciones o pruebas piloto. La descripción grafica de un reactor tipo Batch se ve en la Figura 4. (Díaz, 2010)



Figura 4: Descripción reactor tipo Batch

Fuente: Díaz, p. (2010). diseño de reactores químicos homogéneo

CAPITULO II

2 CONTENIDO METODOLOGICO

2 Metodología

2.1 Diseño del Reactor tipo Batch para la producción de Biodiesel

En esta primera fase del proyecto se genera un entorno investigativo y de planeación donde se encamina a dar las pautas y parámetros de diseño fundamentadas en lineamientos mecánicos y químicos.

- Recolección bibliográfica y asesoramiento sobre el proceso fisicoquímico realizado en la transesterificación.
- Diseño mecánico y de calentamiento del reactor teniendo en cuenta el volumen de producción, velocidad de agitación, temperaturas de trabajo y también las propiedades físicas de la mezclas a reaccionar.

- Selección de los elementos encargados de la agitación de la mezcla, tales como el motor, sistema de reducción de velocidad, sistema de transmisión de movimiento y agitador.
- Selección de los materiales de construcción de acuerdo a las propiedades de corrosión de la mezcla, esfuerzos dinámicos y según el presupuesto.

2.2 Construcción, montaje y puesta a punto del Reactor

Para esta segunda etapa del proyecto se ejecuta lo planeado e investigado en la etapa anterior del proceso metodológico iniciando con el proceso constructivo de los elementos del reactor, un posterior montaje y un puesta a punto del mismo.

- Construcción del prototipo siguiendo los procesos de manufactura adecuados para cada etapa de realización del reactor.
- Montaje del reactor integrando los subsistemas al tanque de reacción, de igual manera la calibración de las variables fundamentales del proceso como la adición de reactivos y sus respectivas tuberías de conexión, sistemas de drenado, sistema de agitación, sistema eléctrico y la estructura de soporte.
- Puesta a punto del reactor mediante pruebas modificando las variables con el fin de encontrar el mayor rendimiento y un punto óptimo de funcionamiento.

2.3 Pruebas Experimentales del Reactor y producción de biodiesel

Para esta etapa final se verifica y se pone a prueba las dos etapas anteriores mediante la evaluación operativa del reactor. Posteriormente se da paso a la redacción y revisión del manual operativo

- Pruebas experimentales para verificar su efectividad operativa.
- Se desarrolla un plan de operación y de mantenimiento del reactor, para la fácil operatividad por parte de los investigadores. También se desea que el reactor posea un correcto funcionamiento para ello se es necesario unas pautas de conservación de la máquina.

CAPITULO III

3 DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE REACTOR TIPO BATCH A ESCALA LABORATORIO PARA LA PRODUCCION DE BIODIESEL

3.1 Dimensionamiento del recipiente de almacenamiento

Para conocer las dimensiones del recipiente de almacenamiento como primer paso se escoge un tipo de recipiente idóneo para el proceso de transesterificación, el cual se selecciona un recipiente con cuerpo cilíndrico, fondo de reducción cónica y una tapa plana, luego se realiza un dimensionamiento teniendo en cuenta la operación de agitación y el volumen tanto requerido de producción como el volumen de diseño.

Se calculó el espesor mínimo de pared para cada una de las partes del recipiente de acuerdo a la operatividad y a la corrosión sometido por los reactivos (ver anexo A1), Con el fin de realizar un proceso de selección del espesor adecuado de lámina para la posterior construcción del tanque.

La dimensión diametral del cuerpo y la reducción fue de 23 cm, por otra parte la altura del cuerpo cilíndrico fue de 29 cm y la altura de la reducción cónica de 3 cm para un volumen de diseño que corresponde a 12.450 L, con un espesor de pared en la totalidad del recipiente de 1,2 mm.

3.2 Diseño del sistema de agitación para el reactor

Para el diseño del sistema de agitación primero se dio paso a la selección del tipo de impulsor teniendo en cuenta el requerimiento de agitación que debe poseer el proceso, luego se da el dimensionamiento del impulsor y los deflectores internos (ver anexo A2), esto con el fin de realizar una óptima agitación.

Debemos saber las condiciones del motor, para la posterior selección de este. Las velocidades de agitación para el proceso de transesterificación en un reactor tipo batch está definida experimentalmente entre 650 rpm y 350 rpm, dependiendo este valor el volumen de trabajo. Como el volumen de trabajo es bajo se trabajara con 350 rpm para obtener eficiencia en el proceso, teniendo la velocidad de agitación y las propiedades de los reactivos se obtiene la potencia requerida del motor (ver anexo A2).

3.3 Diseño del eje principal

Para el diseño del eje se tienen en cuenta los torques producto del motor y el torque que le realiza la mezcla a las aspas, además de esto también se tienen en cuenta factores como la temperatura de trabajo y algunos otros parámetros tenidos en cuenta en el libro de (Budynas & Nisbett, 2012). El diseño del eje (ver anexo A3) nos arroja un diámetro lo cual comercialmente se selección como 0.3125 mm.

3.4 Selección para el acople del motor

Para la selección del acople se deseaba saber cuánto sería su diámetro exterior capaz de soportar el torque producto de la transmisión de potencia ejercida por el motor, la selección del acople del motor dio como resultado 13.8 mm (ver anexo A4), comercialmente se tomó como 12.7 mm.

3.5 Sistema de reducción de velocidad

Se es necesario realizar un sistema de reducción de velocidad esto con el fin de proporcionar la velocidad de agitación deseada para el proceso, la reducción se selecciona piñón- cadena (ver anexo A5), que tiene un piñón conducido de 26 dientes y un piñón conductor de 14 dientes con un respectivo paso de 6.35 mm.

CAPITULO IV

4 CONSTRUCCION Y PUESTA A PUNTO DE UN PROTOTIPO DE REACTOR TIPO BATCH A ESCALA LABORATORIO PARA LA PRODUCCION DE BIODIESEL APARTIR DE ACEITES VEGETALES

4.1 Construcción del recipiente

Para la construcción del recipiente se tuvo en cuenta los espesores mínimos calculados además se seleccionó de manera comercial el calibre de la lámina de acero inoxidable 304 L. El calibre a trabajar para la totalidad del recipiente inclusive su tapa es calibre 18.

El material necesario se calculó sumando el área superficial de todos los elementos.

1. Para el cuerpo cilíndrico su diámetro $D=23\text{cm}$ y se sabe q el perímetro P de una circunferencia es $P = D\pi$ y $A = PH$
 $P = 72.25 \text{ cm}$ Y $A = (72.25\text{cm})(29\text{cm})$

$$A = 2095 \text{ cm}^2$$

2. Para la tapa circular se sabe q $A = \pi R^2$ $A = \pi(11.5 \text{ cm})^2$

$$A = 415 \text{ cm}^2$$

3. para el fondo cónico se toma el área de la tapa más un 40% de curvatura.

$$A = 581 \text{ cm}^2$$

Para la construcción del recipiente se necesita un área comercial de 1 mx50 cm

- Se dan los cortes de las láminas con soldadura plasma y posteriormente se da un proceso de rolado para el cuerpo cilíndrico, luego de esto el cuerpo es soldado con una costura longitudinal mediante el proceso TIG (ver anexo B1).
- Para la reduccion conica se procede a una soldadura TIG diagonal desde el fondo hasta uno de sus extremos, posteriormente se adiciona al cuerpo cilindrico mediante una soldadura perimetral del mismo tipo (ver anexo B1).
- En el cuerpo cilíndrico internamente se es necesario hacer unos deflectores o rompe olas como se conocen normalmente para ello se da corte plasma de los ángulos en inoxidable de 2x2 cm y se procede a adicionar al cuerpo cilíndrico. Para la tapa plana se da igualmente un corte plasma y el proceso de taladrado para los agujeros del sistema de sujeción.
- Finalmente el recipiente principal después de realizarle un acabado espejo queda listo para realizar el proceso de ensamblaje con los demás sistemas.



Figura 3: cuerpo cilindrico

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico

4.2 Construcción sistema de agitación

Primero se dio paso a la adquisición de una varilla de 5/16 in y una longitud de 50 cm, a su vez se tomó una varilla de 1/2 in y una longitud de 30 cm para el acople del eje y el buje central de las aspas. Mediante operaciones metalmecánicas como cortes plasmas, taladrado, cilindrado y soldadura de arco eléctrico con un electrodo 3/32 en acero inoxidable se dio la construcción de las aspas de agitación, eje de transmisión y acoples (ver anexo B2).

4.3 Construcción sistema de calentamiento

Para el sistema de calentamiento se dio el ensamblé de la resistencia térmica al tanque de agitación por la sección cónica de este último, la resistencia se ensamble de manera roscada esto con el fin de realizar cambio o algún tipo de mantenimiento para el sistema

de calentamiento, igualmente el dispositivo sensorial y de regulación de temperatura se dispuso de manera no permanente la ubicación de la resistencia (ver anexo B3)

4.4 Ensamble de dispositivos del reactor

Cuando se habla de accesorios se hace alusión a dispositivos o herramientas necesarias para el proceso. Entre esos dispositivos encontramos el sistema de drenado de salida, que se le adapto una válvula de 3/8 de diámetro (ver anexo B4)

También encontramos en los accesorios el termómetro de varilla, este dispositivo se encarga de medir la temperatura real al interior del tanque que posteriormente será regulada si es pertinente hacerlo para encontrar la temperatura deseada por el sistema de calentamiento.

4.5 Distribución eléctrica

Para el sistema eléctrico se toma dos derivaciones producto de la corriente necesaria para el motor y también de la resistencia, el motor debe poseer una fuente de poder que convierte el voltaje 110 v a 24 v y además de ello esta fuente protege el motor de variaciones eléctricas (ver anexo B5) .

4.6 Ensamble del sistema de transmisión de potencia

Para el sistema de transmisión de potencia se da paso a realizar el acople de la cadena con los dos piñones ya antes calculados, para esto también es necesario adaptar una base para subir el motor unos centímetros sobre la tapa y acoplar un protector de cadena para la seguridad de los operadores del reactor.

4.7 Puesta a punto y pruebas piloto del reactor

- Para la puesta a punto del reactor se dio paso al análisis de fugas y se encontró que en las roscas internas se tenía que adicionar cinta polimérica para el sellado de esta, esta prueba se realizó con el llenado del tanque a su máxima altura.
- Posteriormente se dio el ajuste del sistema de calentamiento en búsqueda del buen funcionamiento y la sincronización entre la resistencia y el dispositivo de regulación. Este análisis conto con 5 pruebas teniendo como liquido agua.(ver anexo B7)
- Luego se realizó las pruebas piloto para analizar el comportamiento del sistema de agitación respecto a un líquido más denso que el agua utilizando en su totalidad aceite vegetal utilizado.
- También se verifico la correcta funcionalidad del termómetro de varilla realizando una comparación de medición de temperatura con otro dispositivo, y se encontró que los dos dispositivos arrojaron la misma medida. (ver anexo B7)

CAPITULO VI

6 GESTION DE RECURSOS

6.2 Cronograma de actividades

OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDAD	MES DE EJECUCIÓN							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Diseñar y construir un reactor tipo Batch a escala piloto para el laboratorio de biocombustibles de la universidad de Córdoba, a través de parámetros mecánicos y químicos para la producción de Biodiésel a través del proceso de Transesterificación.	Diseñar los subsistemas de alimentación, agitación y calentamiento del reactor teniendo en cuenta el régimen de agitación y la viscosidad de los reactivos.	Fase I: diseño del reactor tipo Batch para la producción de biodiesel								
	Elaborar el diseño y selección de los elementos mecánicos del reactor en consideración de las condiciones de operatividad.									
	Construcción y posterior puesta en marcha del reactor tipo batch realizando pruebas piloto con el fin de encontrar su correcta funcionalidad.	Fase II: construcción, montaje y puesta a punto del reactor.								
	Verificar el óptimo funcionamiento del reactor mediante el análisis y evaluación del biodiesel obtenido.	Fase III: Pruebas Experimentales del Reactor y producción de biodiesel								

CAPITULO VII

7 ANALISIS Y RESULTADOS

7.1 Medicion de de la aceptación del aceite de cocina

Para medir si el aceite vegetal utilizado en frituras de pollo proporcionado por la cafetería central de la universidad de córdoba es apto como triglicérido para el proceso de transesterificación se deben realizar pruebas de carácter químico, lo que tuvo lugar a dos repeticiones.

- Como primera etapa de la medición de aceptación del aceite tomamos una muestra de 50 ml.
- Luego realizamos un proceso de filtrado mediante un tamiz de tela fina(Ver anexo C1), esto con el fin de eliminar partículas que interfieren con la reacción deseada
- Para eliminar componentes que deterioran la calidad del producto se realiza un desgomado, este desgomado consiste en un centrifugado que produce una decantación que sirve para sustraer el aceite purificado. El centrifugado se muestra en la figura



Figura : Centrifugado del aceite

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico

7.1.1 Índice de humedad

Para saber si el aceite a utilizar es apto debe poseer un grado de humedad asignado por la norma ASTM y para ello debemos saber el grado de humedad:

- Tomamos 3 crisoles y se disponen en un horno para eliminar humedad contenida en ellos, seguidamente se adiciona aceite en los 3 crisoles y se mide su peso como se muestra en la figura.



Figura : pesado de las muestras

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico

- Luego se disponen las 3 muestras a eliminar la humedad, que posteriormente se mide con la diferencia de humedades (Lafont, 2010). Luego del secado en el horno(Ver anexo C1),como se las pruebas arrojaron los datos mostrados en la tabla 1:

Tabla 3: Indice de humedad

% HUMEDAD $\%H = (((Wc+m)-(Wc+m+Q))/Wm)*100$				
Wc	Wm	Wc+m	Wc+m+Q	%H
58,7324	2,0676	60,8	60,8	0
31,6889	2,0181	33,707	33,7059	0,05450671
38,6125	2,0333	40,6458	40,6435	0,11311661
			PROM	0,05587444

Fuente:Autores,(2015).

7.1.2 Índice acidez

- Para el índice de acidez primeramente se calienta la muestra que se tomó en una mufla de laboratorio (Ver anexo C1)
- Luego realiza el montaje respectivo para conocer el índice de acidez de la muestra, la prueba consiste en cuanta cantidad de NAOH se requiere para llevar a la muestra a un color y textura deseada como se muestra en la figura 23.



Figura 6: Prueba de acidez

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico

Las pruebas arrojaron como resultado la tabla 2:

Tabla 4: Índice de acidez

INDICE DE ACIDÉZ $IA = ((V_m - V_b) * 56,1 * 0,01) / W_m$			
Wm	V(NaOH 0,01N)	Vm-Vb	IA
0	0,5		
2,0618	3,2	2,7	0,73464934
2,0968	3,3	2,8	0,74914155
2,0118	3,4	2,9	0,8086788
		PROM	0,76415656

Fuente: Autores, (2015).

Para los datos arrojados por las pruebas para el aceite se observa que según las normas que se acobija el laboratorio de biocombustibles de la universidad de córdoba el aceite es apto para un proceso de transesterificación. (Ver anexo C1).

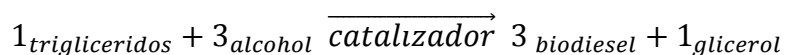
7.2 producción de biodiesel a partir de aceite vegetal utilizado

Para verificar el correcto funcionamiento del reactor se realizaran 3 producciones esto con el fin de garantizar su efectividad operativa, como primera etapa se debe filtrar la totalidad de aceite vegetal utilizado y hacerle además un desgomado.

Para el filtrado total se toman 1.7 Litros por cada producción que es la correspondiente cantidad fijada para la transesterificación, debido a que son 3 producciones se deben filtrar por lo menos 5.1 Litros de aceite, Luego de poseer un aceite puro y limpio de sustancias o partículas innecesarias se procede a realizar el proceso de transesterificación.

7.2.1 Proceso de transesterificación

Para el proceso de transesterificación se utiliza la relación estequiometria (Brasió, 2013)



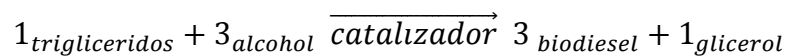
Para nuestro caso utilizaremos 5.1 L de etanol como base alcohólica y 1.7 L de aceite vegetal utilizado como triglicérido además de esto tenemos como catalizador NaOH como catalizador solido

ANEXOS

ANEXO A CALCULOS DE DISEÑO

A1 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento

Encontramos que para la producción de biodiesel se encuentra una relación estequiometría según (Loaiza, 2003) la ecuación



Para nuestro reactor tenemos que un $v_{diseño} = 12.5 \text{ L}$ de lo anterior un volumen máximo de trabajo del 75% y volumen mínimo de trabajo del 50% lo cual está limitado por el posible daño de la resistencia de calentamiento si no se encuentra inmersa en el líquido. El volumen mínimo de trabajo nos produce un volumen de 5.1 L de biodiesel y 1.7 L de glicerol omitiendo posibles pérdidas intrínsecas del proceso.

A1.1 Cuerpo cilíndrico

El reactor tendrá un cuerpo cilíndrico con un fondo plano. Según (MCabe, 2007) $\frac{h}{D} = 1.2$

Por cuestiones de óptima agitación, Para el cilindro nos queda que:

$$12.000 \text{ cm}^3 = \pi r^2 (2.4r) \quad r = 11.67 \text{ cm}$$

Por cuestiones del proceso de rolado para las láminas tomaremos $r = 11.5 \text{ cm}$
Entonces $h = 2.4r = 28.02 \text{ cm}$ Tomaremos $h = 29.0 \text{ cm}$ para efectos de

asegurarnos de la compensación volumétrica producto del redondeo para el rolado de las láminas.

Esto nos arroja como volumen de diseño para el cuerpo cilíndrico $v = 12048 \text{ cm}^3$

Para el cono $400 \text{ cm}^3 = \frac{1}{3}\pi(11.5)^2h$ $h = 2.88 \text{ cm}$ Luego para el proceso de construcción la altura de la reducción cónica será $h = 3 \text{ cm}$, teniendo como volumen de la reducción $v = 415 \text{ cm}^3$ Finalmente el volumen de diseño será

$$v_{\text{calculado}} = 12448 \text{ cm}^3 \approx 12.450 \text{ L}$$

Luego para las condiciones críticas tenemos Según la (ASME, 1998) $p = 110 \text{ psi}$

Para el cálculo del espesor tenemos que $t = \frac{PR}{SE-0.6P}$ Donde

S= esfuerzo ultimo

t= espesor mínimo

P=presión interna

R=radio

E=eficiencia de la soldadura

- Para el esfuerzo circunferencial

$$t = \frac{(0.7584 \text{ Mpa})(11.5 \text{ cm})}{((620 \text{ Mpa})(1) - 0.6(0.7584 \text{ Mpa}))} \quad t = 0.014 \text{ cm}$$

- El cálculo del espesor relacionado con esfuerzo longitudinal

$$t = \frac{(0.7584 \text{ Mpa})(11.5 \text{ cm})}{(2(620 \text{ Mpa})(1) - 0.4(0.7584 \text{ Mpa}))}$$

$t = 0.007\text{cm}$; El espesor seleccionado para el cuerpo cilíndrico es $t = 1.2\text{mm}$

A1.2 Fondo cónico

Para el cono debido a que las tapas de un tanque están sometidas a un esfuerzo longitudinal neto nos queda según la (ASME, 1998), la geometría de la reducción cónica se muestra en la figura 1.

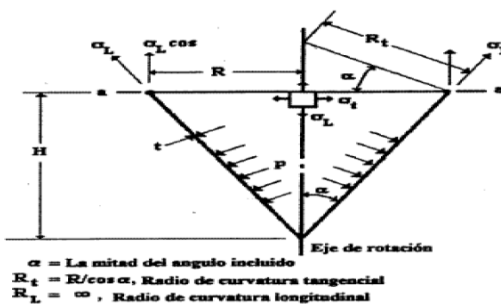


Figura: Reducción cónica geometría

Fuente: ASME (2014). Sección VIII UG-32 Recipientes a presión

$$t = \frac{PD}{2 \cos \alpha (SE - 0,6(P))} \quad t = \frac{(0.7584)(23\text{cm})}{2 \cos 70((620\text{Mpa}) - 0,6(0.7584))}$$

$t = 0.031\text{cm}$; Igualmente par el fondo cónico se seleccionó un espesor

$$t = 1.2\text{mm}$$

En la figura XXX en el contenido de anexos se encuentra una representación gráfica del tanque de agitación.



Figura: Tanque principal de agitación

Fuente: Autores, (2014). Imagen obtenida de solidwork

A1.3 Efectos corrosivos en el material (ASME) UG25

Esta norma nos advierte de la corrosividad de los materiales de recipientes a presión, en nuestro caso el acero inoxidable 304 tiene un deterioro de material de 0,26 mm/año además este material no reacciona con ninguna sustancia a temperaturas de trabajos altas, se escogió un espesor de lámina de 1.2 mm.

A2 Diseño del sistema de agitación para el reactor

Se deben garantizar condiciones de agitación y turbulencia para la perfecta mezcla de los reactantes en la reacción de transesterificación, para esto se selecciona un impulsor tipo turbina estándar de 4 palas inclinadas a 45° que garantiza flujo radial y longitudinal al tiempo, comúnmente utilizados en recipientes de poco tamaño, como se muestra en la figura 1 del contenido de anexos.

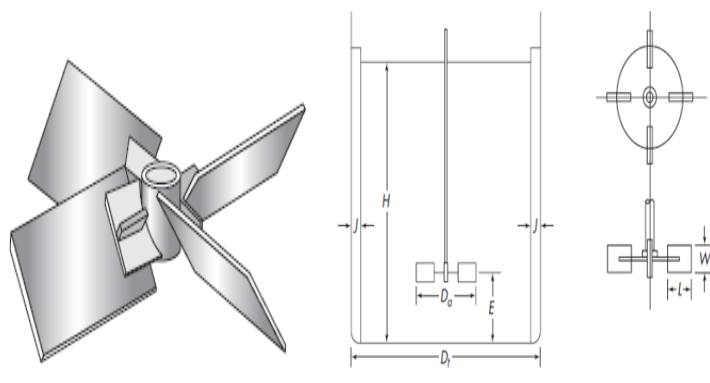


Figura: Geometría sistema de agitación interno

Fuente: Mccabe,w.(2007).operaciones unitarias en ingenieria quimica

Partiendo de la condición geométrica del tanque prediseñado $D_t = 0,23m$ con esta dimensión se procede a calcular las dimensiones de las aspás.

Tabla : Dimensiones Diseño de la turbina

DIMENSION	EXPRESIÓN	MAGNITUD
DIAMETREO DEL RODETE	$D_a = 0,42D_t$	0,1m
ALTURA MAXIMA HUMEDA	$h_1 = 0,21m + 0,036m$	0,246m
DIMENSION DEFLECTORES	$J = \frac{0,23m}{12}$	$\approx 0,02m$
UBICACIÓN ALTURA DE LAS ASPAS	$E = \frac{0,23m}{3}$	$\approx 0,08m$
DIMENSIONES DE LAS ASPAS	$W = \frac{D_a}{5} = \frac{0,1m}{5}$	0,02m
DIMENSIONES DE LAS ASPAS	$L = \frac{D_a}{4} = \frac{0,1m}{4}$	0,025m

Fuente:Autores,(2014).

A2.2 Consumo de potencia

Las condiciones para el cálculo de la potencia básicamente serán la existencia de flujo turbulento al interior del tanque ($Re > 3000$) el cual por resultados experimentales se obtiene aproximadamente alrededor de las 350 RPM (10,08 RPS) y la temperatura máxima de operación (60°C), temperatura a la cual se tendrán unas viscosidades y densidades determinadas para los fluidos reactantes.

Propiedades del aceite a 60°C :

$$\mu = 71,6 \text{ Cp} ; \quad \rho = 898,44 \text{ Kg/m}^3$$

Propiedades del etanol a 60°C :

$$\mu = 1,17 \text{ Cp} ; \quad \rho = 789,3 \text{ Kg/m}^3$$

Se calcula unas viscosidades y densidades promedio de acuerdo a las fracciones volumétricas de la mezcla en las condiciones más extremas:

$$X'_A = 85\% ; \quad X'_E = 15\%$$

$$\text{Así; } \mu_{prom} = (1,17 \text{ Cp} \times 0,15) + (71,6 \text{ Cp} \times 0,85) = 0,0271125 \text{ Pa.s}$$

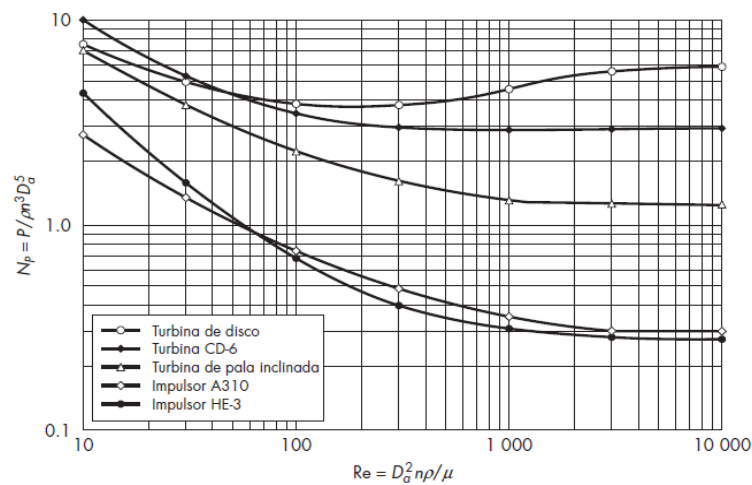
$$\rho_{prom} = \left(789,3 \text{ Kg/m}^3 \times 0,15 \right) + \left(898,44 \text{ Kg/m}^3 \times 0,85 \right) = 882,069 \text{ Kg/m}^3$$

$$Re = \frac{n D_a^2 \rho}{\mu}$$

$$\text{Así; } Re = \frac{nD_a^2 \rho}{\mu} = \frac{(0,1m)^2 \times 882,069 Kg/m^3 \times 10,83 RPS}{0,0271125 Pa.s} = 3604$$

El Reynolds obtenido garantiza flujo turbulento óptimo para la reacción de transesterificación. La potencia del motor depende intrínsecamente de él y de las características del agitador como se registra en la figura (1) en el contenido de anexos

Grafica1: Numero de potencia Np en función de Reynolds Re para turbinas e impulsores de alta eficiencia



Fuente: McCabe, w.(2007).operaciones unitarias en ingenieria quimica

Con la selección de Np (Número de potencia) que es un número que es proporcional a la relación entre la fuerza de arrastre que actúa sobre una unidad de área del impulsor y la fuerza inercial del mismo.

Aproximadamente para una Turbina de disco similar a la nuestra se obtiene $N_p=5,8$ para proceder a calcular el valor de la potencia necesaria P.

$$P = N_p \cdot \rho n^3 D_a^5$$

$$P = 5,8 \times 882,069 Kg/m^3 \times 10,83^3 \times 0,1m^5 = 64,98 W$$

Se tiene en cuenta un factor de diseño de 40% considerando las posibles pérdidas mecánicas que se puedan presentar. Así el valor neto de la potencia será

$$P = 64,98W \times 1,4 = 90,97W = 0,122hp$$

En la figura 9 en el contenido de anexos se muestra una imagen del diseño de los impulsores.

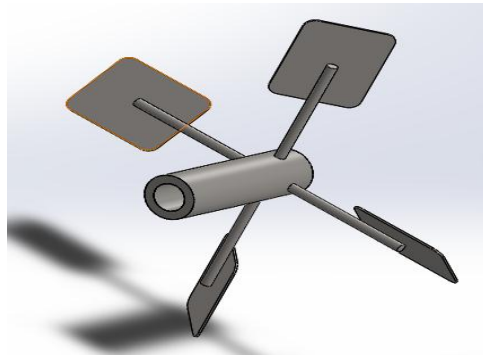


Figura : Impulsores tipo turbina

Fuente: Autores,(2014). Imagen obtenida de solidworks

A3 Diseño de eje principal de agitación

Para el diseño del eje tenemos que girar a 350rpm y 0.122 hp luego mediante la ecuación de potencia según, debemos escoger una potencia para motores comerciales entonces tomaremos 0.25 hp,

$$T = \frac{63025H}{n}$$

Donde $n = 350 \text{ rpm}$ y $H = 0,25 \text{ hp}$

$$T = \frac{63025(0.25hp)}{(350rpm)}$$

$$T = 26.26 \text{ lbf.in}$$

Este torque calculado es producto del movimiento del motor, luego existe otro torque creado por la fuerza opuesta del fluido (Manrique, 2006), como se muestra en la figura XXX.

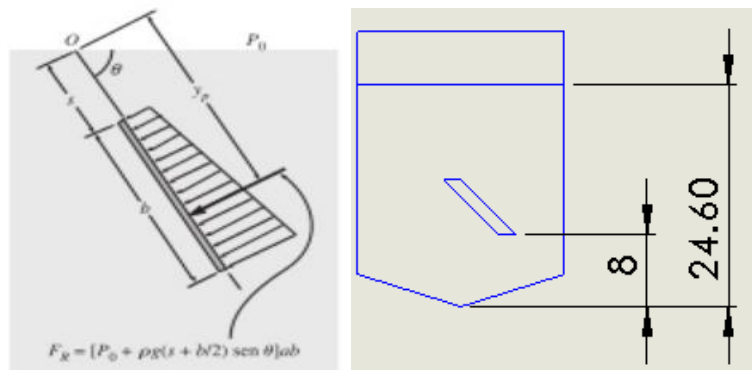


Figura : Fuerza ejercida por el liquido

Fuente: Streeter,v.(2007). Mecanica defluidos

$$F_r = [101320 \text{ Pa} + 882,06 \text{ Kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 (0,2147\text{m} + 0,01\text{m})\text{Sen}45^\circ](0,02\text{m} \times 0,025\text{m})$$

$$F_r = 51,34$$

$$Tr = 51,34\text{N} \times 0,5\text{m} = 2,56 \text{ Nm} = 22,72 \text{ Lbf.in}$$

Posteriormente realizamos sumatoria de torques sobre el eje,

$$\sum T_{XZ} = T_{MOTOR} - T_{FLUIDO}$$

$$\sum T_{xz} = 26.26 \text{ lb.in} - 22.65 \text{ lb.in}$$

$$\sum T_{xz} = 3.61 \text{ lb.in}$$

Además de ello la fuerza producida por el fluido en las aspas genera un momento

$$F = T/r$$

Donde T es el torque resultante en la totalidad del eje, y r es la distancia del eje hasta el extremo de los álabes.

$$F = (3.61)/(1.96 \text{ in})$$

$$F = 1.84 \text{ lb}$$

Luego el momento será:

$$M = Fd$$

$$M = (1.84 \text{ lb})(9.05 \text{ in})$$

$$M = 16.67 \text{ lb.in}$$

Luego tenemos que para encontrar el diámetro adecuado para nuestro eje, iniciando nuestro diseño tomaremos pautas de dimensionamientos de recipientes con agitación; esto nos lleva a que para nuestro volumen de trabajo y las características del reactor este diámetro debe encontrarse entre $\frac{5}{16} \text{ in}$ y $\frac{3}{8} \text{ in}$. Tomaremos el mayor valor como inicial:

$$D = 0,375 \text{ in} \quad \text{Luego las relaciones} \quad \frac{D}{d} = 2 \quad \frac{r}{d} = 0.5$$

$$d = 0.25 \text{ in}$$

$$r = 0.125 \text{ in}$$

Luego mediante la figura A-15-8 de libro Diseño en ingeniería mecánica de shigley

Con estos valores encontramos que $k_{ts} = 1.15$ Posteriormente hallamos k_t de la figura A-15-9 del mismo texto, nos da un valor de $k_t = 1.3$.

La ecuación $k_f = 1 + q(k_t - 1)$ entonces reemplazando que:

$$k_f = 1 + 0.8(1.3 - 1)$$

$$k_f = 1.24$$

Igualmente para $k_{fs} = 1 + q(k_{ts} - 1)$

$$k_{fs} = 1 + 0.9(1.15 - 1)$$

$$k_{fs} = 1.135$$

Ahora tomaremos los factores de marine como parámetros de diseño empezando por:

$Se' = 0.5Sut$ Para $Sut \leq 200 \text{ kpsi}$ debido a que nuestro material posee un esfuerzo ultimo de 84 kpsi

$$Se' = 0.5(84 \text{ kpsi})$$

$$Se' = 42 \text{ ksi}$$

Para el factor k_a nos dirigimos a la tabla 6-2 de (Budynas & Nisbett, 2012)

Escogemos el acabado superficial un proceso de maquinado, luego tenemos que

$$k_a = 2.70(Sut)^{-0.265}$$

$$k_a = 2.70(84 \text{ kpsi})^{-0.265}$$

$$k_a = 0.834$$

Ahora para el factor $k_b = 0.879(D)^{-0.107}$ de acuerdo con la ecuación

(6-20, shigley) para $0.11 \leq d \leq 2 \text{ in}$

$$k_b = 0.946$$

Posteriormente buscaremos el factor por temperatura, este último siendo de suma importancia para el trabajo que realizara el eje a diseñar.

Nos dirigimos a la ecuación 6-28, (Budynas & Nisbett, 2012) donde $k_d = \frac{s_T}{s_{RT}}$

Este factor es calculado mediante la tabla 6-4 página 278 de (Budynas & Nisbett, 2012)

Que se trabajara bajo las temperaturas de operación del reactor, siendo esta 65°C

Interpolando para 65°C de la tabla XXX en el contenido de anexos tenemos que

Tabla: Datos para interpolación Kd

T(C)	k_d
50	1.008
65	Y
100	1.020

Fuente: Autores,(2014).

$$k_d = 1.0116$$

Ahora hallamos $s_e = Se' k_a k_b k_d$

$$s_e = (42ksi)(0.834)(0.946)(1.0116)$$

$$s_e = 33.52 ksi$$

Luego hallaremos el diámetro nominal bajo el concepto de energía de distorsión escogido para efectos de asegurar el diseño por la fluencia siendo este concepto el más cercano a la realidad.

$$D = \left\{ \frac{16n}{\pi s_y} \left[4(k_f M_a)^2 + 3(k_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$D = \left\{ \frac{16(1.6)}{\pi(35ksi)} \left[4((1.24)(119.26 lb.in))^2 + 3((1.135)(25.83 lb.in))^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$D = 0.2063 in$$

Entonces el diámetro nominal tomando un factor de seguridad por deterioro corrosivo del 35% entonces el diámetro será de $D = 0.2785 in$. Este valor se tomara comercialmente como $5/16 in$. En la figura XXX se muestra el diseño del eje.

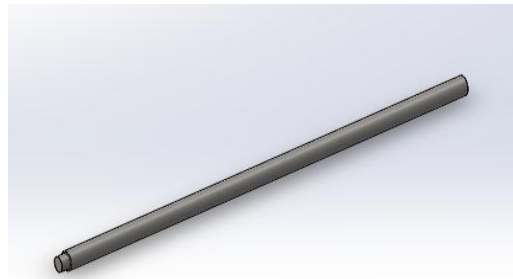


Figura : Eje principal de agitacion

Fuente: Autores,(2014). Imagen obtenida de solidworks

A4 Selección para el acople del motor

Para la selección del acople del motor se debe tener en cuenta la relación según (Hall, 1971). EL diámetro del eje d tiene q estar en este rango de valores para que el acople sea operativamente correcto

$(1.75)d \approx D$ Para nuestro diseño el eje posee un diámetro de $5/16$ in, el diámetro recomendado de diseño para el acople seria $(1.75)(\frac{5}{16}) \approx D$; $D=0.5468$ in. D lo tomamos comercialmente como $1/2$ in, como se muestra en la figura XXX

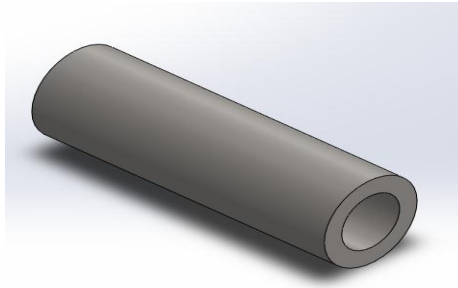


Figura : Acople eje de agitación

Fuente: Autores,(2014). Imagen obtenida de solidworks

A5 Sistema de reducción de velocidad

Para el sistema de reducción de velocidad, se tiene en el motor una velocidad de 650 rpm y se desea que el agitado sea de 350 rpm para ello se emplea una transmisión por cadena y piñón (Casillas, 2008). Se emplea un piñón conductor de 14 dientes y un piñón conducido de 26 dientes con un paso de $1/4$ in, esto se selecciona producto de la necesidad de tamaño del sistema de reducción. Una representación gráfica del diseño del sistema de transmisión se muestra en la figura XXX.

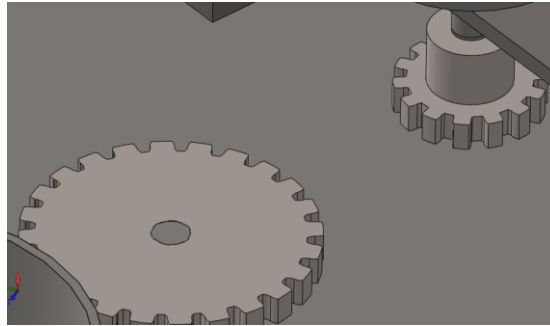


Figura : Sistema de reduccion

Fuente: Autores,(2014). Imagen obtenida de solidworks

Nuestro diseño final luego de realizar un proceso de análisis mediante representación gráfica en tres dimensiones con el programa CAD solidworks 2014 lo cual se muestra en la figura XXX.

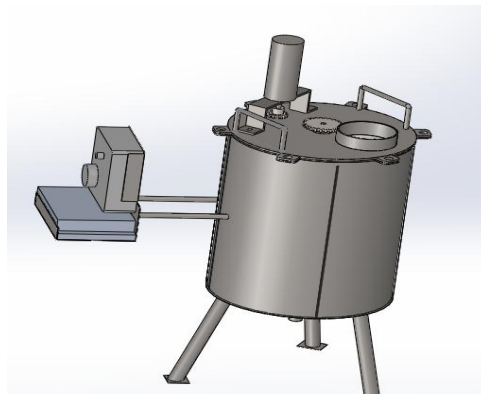


Figura : CAD reactor

Fuente: Autores,(2014). Imagen obtenida de solidworks

ANEXO B IMÁGENES CONTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DEL REACTOR

B1 Construcción del recipiente



Figura :Construcción cuerpo cilindrico

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico

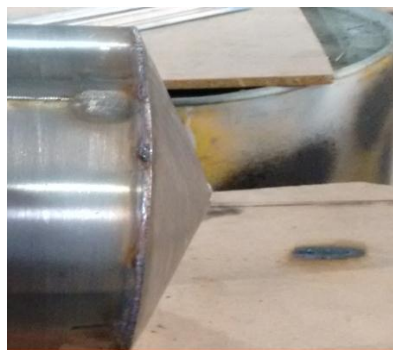


Figura : reducción cónica

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico



Figura : Tapa plana

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico



Figura : cuerpo cilindrico

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico

B2 Construcción sistema de agitación



Figura : Aspas de agitacion

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico



Figura : sistema de agitacion

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico

4.3 Construcción sistema de calentamiento



Figura : sistema de calentamiento

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico

A4 Ensamble de dispositivos del reactor



Figura : ensamble valvula de drenaje

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico



Figura : Ensamble termometro

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico

(Cantero, 2010) (Cerón, Universidad Nacional)

A5 Distribución eléctrica



Figura : sistema electrico

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico



Figura : sistema electrico

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico

A6 Ensamble del sistema de transmisión de potencia

A7 Puesta a punto y pruebas piloto del reactor



Figura : pruebas de agitación con agua

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico



Figura : pruebas de calentamiento con agua

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico



Figura : verificacion

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico

ANEXO C IMÁGENES PRUEBAS EXPERIMENTALES

C1 Medicion de de la aceptación del aceite de cocina



Figura :almacenamiento aceite vegetal usado

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico



Figura : muestra de aceite

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico



Figura : proceso de filtrado

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico

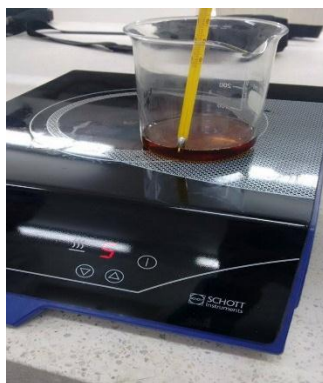


Figura : calentamiento muestra

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico



Figura : deshumidificacion muestras

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico

C2 Producción de biodiesel a partir de aceite vegetal utilizado



Figura : filtrado para transesterificar

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico

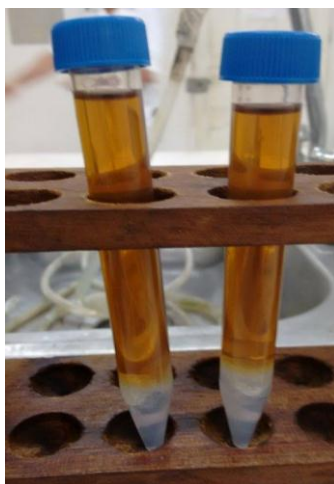
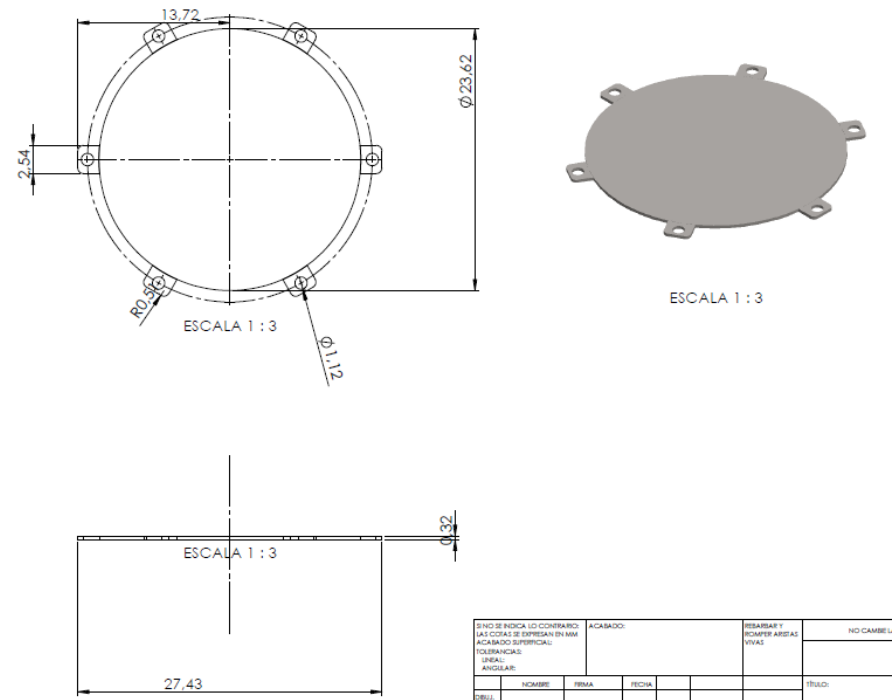


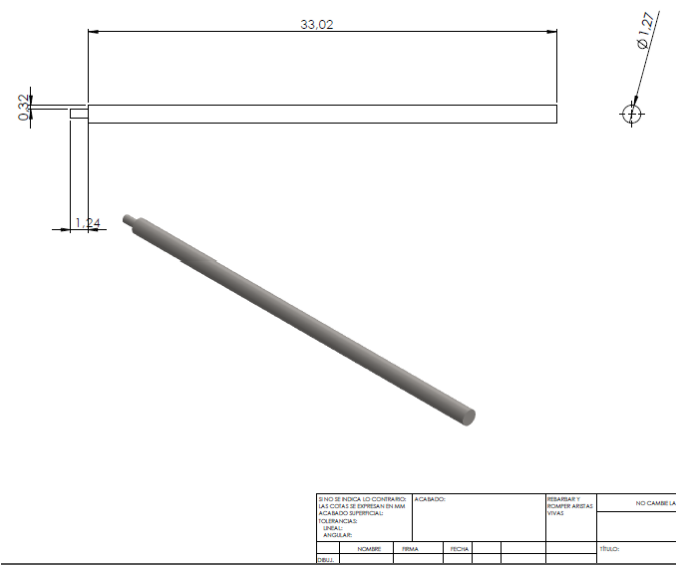
Figura : Aceite desgomado para transesterificar

Fuente: Autores,(2015). Registro fotografico

E3 Plano tapa reactor



E4 Planos eje de agitación



E5 Plano caja de distribución

